

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
27. Juni 2002 (27.06.2002)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 02/50985 A1**

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: H02K 55/00, 5/04 (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE01/04638 (72) Erfinder; und

(22) Internationales Anmeldedatum: 10. Dezember 2001 (10.12.2001) (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): FRANK, Michael [DE/DE]; Erlanger Strasse 27c, 91080 Uttenreuth (DE). KÜHN, Adolf [DE/DE]; Wiesenstrasse 33, 90552 Röthenbach (DE). MASSEK, Peter [DE/DE]; Berliner Strasse 11, 91301 Forchheim (DE). VAN HÄBELT, Peter [DE/DE]; Tennenloher Strasse 40, 91058 Erlangen (DE).

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
100 63 724.8 20. Dezember 2000 (20.12.2000) DE

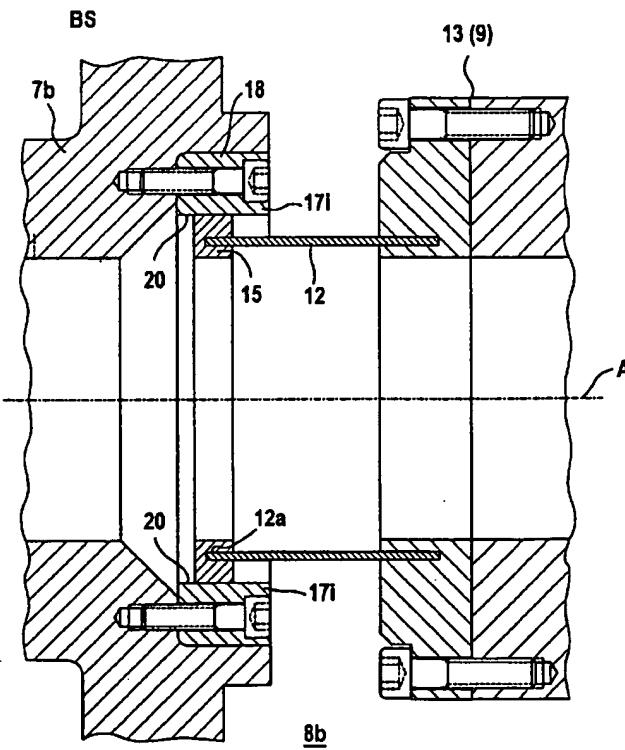
[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: WINDING SUPPORT OF A SUPERCONDUCTIVE ROTOR, COMPRISING A STRUCTURE ALLOWING THE AXIAL EXPANSION OF SAID SUPPORT

(54) Bezeichnung: WICKLUNGSTRÄGER EINES SUPRALEITENDEN ROTORS MIT KONSTRUKTION FÜR DESSEN AXIALEN DEHNUNGSAUSGLEICH



**WO 02/50985 A1**



(57) Abstract: The invention relates to a machine comprising a rotor that is mounted so it can rotate about a rotational axis (A) and a superconductive winding located in a winding support (9). Connection devices are provided to retain the winding support inside a rotor external housing (7b). To compensate changes caused by the expansion of the winding support (9), a connection device (8b) should have at least one connection element (12) that extends axially. One end of said element is connected to the winding support (9) in a fixed manner and the opposite free end (12a) is connected to a centering retaining element (18) of the rotor external housing (7b) in a non-positive radial fit, so that it can be displaced axially.

(57) Zusammenfassung: Die Maschine weist einen um eine Rotationsachse (A) drehbar gelagerten Rotor mit einer supraleitenden Wicklung in einem Wicklungsträger (9) auf. Zur Halterung des Wicklungsträgers innerhalb eines Rotoraußengehäuses (7b) sind Verbindungseinrichtungen vorgesehen. Zum Ausgleich von Dehnungsänderungen des Wicklungsträgers (9) soll eine Verbindungseinrichtung (8b) mindestens ein sich

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



(74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, 80333 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (national): CN, IN, JP, US.

(84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).

**Erklärungen gemäß Regel 4.17:**

- hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, ein Patent zu beantragen und zu erhalten (Regel 4.17 Ziffer ii) für die folgenden Bestimmungsstaaten CN, IN, JP, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR)
- Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv) nur für US

**Veröffentlicht:**

- mit internationalem Recherchenbericht
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

---

axial erstreckendes Verbindungselement (12) aufweisen, das einseitig starr mit dem Wicklungsträger (9) verbunden ist und dessen gegenüberliegendes, freies Ende (12a) in einer axial beweglichen, radial kraftschlüssigen Verbindung mit einem zentrierenden Halterungselement (18) des Rotoraußengehäuses (7b) steht.

5  
WICKLUNGSTRÄGER EINES SUPRALEITENDEN ROTORS MIT KONSTRUKTION FÜR DESSEN  
AXIALEN DEHNUNGSAUSGLEICH

Die Erfindung bezieht sich auf eine Maschine mit einem um eine Rotationsachse drehbar gelagerten Rotor, der ein Rotoraußengehäuse hat, das an axialen Rotorwellenteilen befestigt 10 ist und einen Wicklungsträger mit einer supraleitenden Wicklung umschließt. Der Rotor weist ferner Mittel zur Halterung des Wicklungsträgers innerhalb des Rotoraußengehäuses auf, die auf einer drehmomentübertragenden Seite eine erste, starre Verbindungseinrichtung zwischen dem Wicklungsträger und 15 dem Rotoraußengehäuse und auf der gegenüberliegenden Seite eine zweite, axiale Dehnungsänderungen des Wicklungsträgers ausgleichende Verbindungseinrichtung umfassen. Ferner sind Mittel zur Kühlung und thermischen Isolation der supraleitenden Wicklung vorgesehen. Eine entsprechende Maschine geht aus 20 der DE 23 26 016 B2 hervor.

Elektrische Maschinen, insbesondere Generatoren oder Motoren, besitzen in der Regel eine rotierende Feldwicklung und eine feststehende Ständerwicklung. Durch die Verwendung von tief- 25 gekühlten und insbesondere supraleitenden Leitern kann man dabei die Stromdichte und dadurch die spezifische Leistung der Maschine, d.h. die Leistung pro Kilogramm Eigengewicht, erhöhen und auch den Wirkungsgrad der Maschine steigern.

30 Tiefkalte Wicklungen elektrischer Maschinen müssen im allgemeinen von der Umgebung thermisch isoliert und mit einem Kühlmittel auf der geforderten Tieftemperatur gehalten werden. Eine effektive Wärmeisolation kann dabei nur erreicht werden, wenn die tiefkalten Teile der Maschine von dem warmen 35 Außenraum möglichst durch ein Hochvakuum mit einem Restgasdruck im allgemeinen unter  $10^{-3}$  mbar getrennt sind und wenn

Verbindungsteile zwischen diesen tiefkalten Teilen und dem warmen Außenraum möglichst wenig Wärme übertragen.

Für eine Vakuumisolation von Rotoren mit tiefzukühlenden Läuferwicklungen und warmen Ständerwicklungen sind insbesondere zwei Varianten bekannt: Bei einer ersten Ausführungsform hat der Rotor ein warmes Außengehäuse und einen mitrotierenden abgeschlossenen Vakuumraum. Der Vakuumraum sollte dabei den tiefkalten Bereich allseitig umgeben (vgl. z.B. „Siemens 5  
Forsch. u. Entwickl.-Ber.“, Bd. 5, 1976, No. 1, Seiten 10 bis 16). Über sich durch den Vakuumraum erstreckende Abstützungen erfolgt jedoch eine unerwünschte Übertragung von Wärme auf die tiefkalten Teile. Bei einer zweiten Ausführungsform rotiert der im wesentlichen kalte Rotor in einem Hochvakuum. 10  
15  
Dabei wird die äußere Begrenzung des Hochvakuumraumes durch die Innenbohrung des Ständers festgelegt. Eine solche Anordnung erfordert jedoch hochvakuumdichte Wellendichtungen zwischen dem Rotor und dem Ständer (vgl. z.B. DE 27 53 461 A).

20  
Bei der aus der eingangs genannten DE-B2-Schrift entnehmbaren Maschine ist die erstgenannte Ausführungsform realisiert. Bei ihrem Rotor befindet sich die supraleitende Wicklung im Inneren eines Läuferkryostaten, der mit angebrachten Flanschschwellen ein Außengehäuse des Rotors bildet. Auf Grund einer Verwendung von klassischem Supraleitermaterial für die Leiter der Wicklung ist eine Heliumkühlung vorgesehen mit einer Betriebstemperatur um etwa 4 K. Demgegenüber befindet sich die Außenkontur des Rotoraußengehäuses etwa auf Raumtemperatur und im Betrieb auch gegebenenfalls darüber. Das Nutzdrehmoment der Maschine wird in der Rotorwicklung erzeugt. Diese ist in einem kalten Wicklungsträger angeordnet, der seinerseits isoliert in dem als Kryostaten wirkenden Rotoraußengehäuse aufgehängt bzw. gehalten ist. Dabei muss diese Aufhängung bzw. Halterung auf der Antriebsseite des Rotors stabil 25  
30  
35  
genug sein, um das Drehmoment von dem kalten Wicklungsträger auf einen antriebsseitigen Wellenteil zu übertragen. Eine entsprechende, starre Verbindungseinrichtung zur Drehmoment-

Übertragung muss daher verhältnismäßig massiv ausgeführt und kraftschlüssig mit dem Wicklungsträger und dem antriebsseitigen Wellenteil verbunden werden. Zugleich übernimmt diese Verbindungseinrichtung die antriebsseitige Zentrierung des

5 kalten Wicklungsträgers. Auf der gegenüberliegenden Rotorseite, die auch als Nichtantriebs- oder Betriebsseite bezeichnet wird, weil an ihr für einen Betrieb der Maschine wichtige Verbindungen wie z.B. eine Kühlmittelzufuhr vorgesehen sind, wird praktisch kein Drehmoment ausgeleitet. Daher sind hier

10 im wesentlichen nur die Funktionen einer Zentrierung und thermischen Isolierung zu erfüllen. Da sich jedoch bei einem Übergang von Raumtemperatur auf die Betriebstemperatur die axiale Länge des Wicklungsträgers relativ zur entsprechenden Ausdehnung des Rotoraußengehäuses um mindestens einen Millimeter reduziert, muss die betriebsseitige Aufhängung zusätzlich die Funktion eines entsprechenden Längenausgleichs gewährleisten. Bei der aus der eingangs genannten DE-B2-Schrift entnehmbaren Maschine sind deshalb zwischen dem Rotoraußengehäuse und dem Wicklungsträger radial verlaufende, scheibenförmige Verbindungselemente vorgesehen, die zum Dehnungsausgleich eine entsprechende Verbiegung in axialer Richtung ermöglichen.

15

20

Auch bei dem aus der DE 27 17 580 A entnehmbaren Rotor einer elektrischen Maschine mit supraleitender Erregerwicklung ist ein entsprechendes, sich radial erstreckendes Verbindungselement zwischen einem Rotoraußengehäuse und einem Wicklungsträger vorgesehen, das eine axiale Deformation zulässt.

25

30 Neben den seit langem bekannten metallischen Supraleitermaterialien wie z.B. NbTi oder Nb<sub>3</sub>Sn, wie sie bei den vorstehend erwähnten Maschinen eingesetzt werden, sind seit 1987 auch metalloxidische Supraleitermaterialien mit Sprungtemperaturen von über 77 K bekannt. Mit Leitern unter Verwendung solcher

35 Hoch(High)-T<sub>c</sub>-Supraleitermaterialien, die auch als HTS-Materialien bezeichnet werden, versucht man, supraleitende Wicklungen von Maschinen zu erstellen. Auch Maschinen mit

diesem Leiterryp erfordern auf Grund der Temperaturunterschiede zwischen der Betriebstemperatur des Supraleitermaterials und der Außentemperatur des wärmeren Rotoraußengehäuses einen entsprechenden Dehnungsausgleich in axialer Richtung.

5

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine geeignete Verbindungseinrichtung einer entsprechenden Maschine anzugeben, die auf verhältnismäßig einfache Weise einen solchen axialen Dehnungsausgleich (=Längenausgleich) ermöglicht und 10 dabei insbesondere Wärmeeinleitungsverluste der supraleitenden Wicklung über die Verbindungseinrichtung begrenzt.

Diese Aufgabe wird für eine Maschine mit den eingangs genannten Merkmalen erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass die Dehnungsänderungen ausgleichende zweite Verbindungseinrichtung 15 mindestens ein sich axial erstreckendes Verbindungselement aufweist, das einseitig starr mit dem Wicklungsträger verbunden ist und dessen gegenüberliegendes, freies Ende in einer axial beweglichen, radial kraftschlüssigen Verbindung mit 20 mindestens einem zentrierenden Halterungselement des Rotoraußengehäuses steht.

Die mit dieser Ausgestaltung der Maschine verbundenen Vorteile bestehen in einer einfachen, billigen Fertigbarkeit, der 25 Zentrierung und der gleichzeitig erzielbaren geringen Wärmelecks. Dabei wird ein Schrumpfungsausgleich (= axiale Bewegung) durch eine echte Relativbewegung der beiden Aufhängungs- bzw. Halterungskomponenten „Verbindungselement und Halterungselement“ zugelassen. Dennoch bleibt die Zentrierung 30 und Steifigkeit der Verbindungseinrichtung erhalten. Dabei sind keine speziellen Materialienpaarungen notwendig, und eine Problematik von Wärmelecks wird von der Problematik der Materialspannungen der Aufhängung durch thermischen Schrumpf entkoppelt. Außerdem sind im allgemeinen für die üblichen Anwendungsfälle der Maschine inhärente Verschleißprobleme von 35 untergeordneter Bedeutung.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der erfindungsgemäßen Maschine gehen aus den abhängigen Ansprüchen hervor.

So kann insbesondere das sich axial erstreckende Verbindungs-  
5 element hohlzylinderförmig gestaltet sein und vorteilhaft an seinem freien Ende in eine entsprechende Öffnung des Halte-  
rungselementes spielfrei gleitend hineinragen. Unter einem spielfreien Gleiten wird in diesem Zusammenhang verstanden,  
dass eventuelle Reibungskräfte ein axiales Verschieben des  
10 Endes des Verbindungs-elementes in der Öffnung des Halterungs-  
elementes trotz eines radialen Kraftschlusses zwischen diesen Bauteilen praktisch nicht behindern. Eine gute Zentrierung  
des Verbindungs-elementes und damit des Rotors auf der nicht-  
drehmomentübertragenden (Betriebs-)Seite lässt sich so errei-  
15 chen.

Vorzugsweise besteht zumindest das sich axial erstreckende Verbindungs-element aus einem mit Fasern verstärkten Kunststoffmaterial. Mit entsprechenden Materialien ist eine hin-  
20 reichende mechanische Stabilität bei vorteilhaft geringer Wärmeübertragung zu gewährleisten.

Für die Leiter der supraleitenden Wicklung kommt metallisches Niedrig- $T_c$ -Supraleitermaterial oder insbesondere metalloxidi-  
25 sches Hoch- $T_c$ -Supraleitermaterial in Frage.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der erfindungsgemäßen Maschine sind Gegenstand der restlichen Unteransprüchen.

30 Ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel einer Maschine nach der Erfindung wird nachfolgend an Hand der Zeichnung noch weiter erläutert. Dabei zeigen jeweils schematisch im Längsschnitt deren Figur 1 eine mögliche Ausführungsform der Maschine so-  
wie  
35 deren Figur 2 eine spezielle Ausgestaltung einer Verbindungs-  
einrichtung dieser Maschine.

In den Figuren sind sich entsprechende Teile mit denselben Bezugszeichen versehen.

Bei der nachfolgend angedeuteten Ausführungsform der Maschine 5 kann es sich insbesondere um einen Synchron-Motor oder einen Generator handeln. Selbstverständlich sind auch andere Anwendungs- bzw. Einsatzgebiete entsprechender Maschinen wie für hohe Drehzahlen, kompakte Antriebe z.B. von Schiffen oder für sogenannte Offshore-Einrichtungen wie z.B. Bohrplattformen 10 möglich. Die erfindungsgemäße Maschine umfasst eine rotierende, supraleitende Wicklung, die prinzipiell eine Verwendung von metallischem LTS-Material (Niedrig-T<sub>c</sub>-Supraleitermaterial) oder insbesondere oxidischem HTS-Material (Hoch-T<sub>c</sub>-Supraleitermaterial) gestattet. Letzteres 15 Material sei für das nachfolgende Ausführungsbeispiel ausgewählt. Die Wicklung kann aus einer Spule oder einem System von Spulen in einer zwei-, vier- oder sonstigen mehrpoligen Anordnung bestehen. Der prinzipielle Aufbau einer solchen Synchronmaschine geht aus Figur 1 hervor, wobei von bekannten 20 Ausführungsformen solcher Maschinen ausgegangen wird (vgl. z.B. den vorstehend genannten Stand der Technik).

Die allgemein mit 2 bezeichnete Maschine umfasst ein feststehendes, auf Raumtemperatur befindliches Maschinenußengehäuse 25 3 mit einer Ständerwicklung 4 darin. Innerhalb dieses evakuierbaren Außengehäuses und von der Ständerwicklung 4 umschlossen ist ein Rotor 5 drehbar um eine Rotationsachse A in Lagern 6 gelagert, der auf seiner sogenannten Antriebsseite AS einen in dem entsprechenden Lager gelagerten, massiven axialen Rotorwellenteil 5a umfasst. Der Rotor weist ein als Vakuumgefäß gestaltetes Rotoraußengehäuse 7 auf, in dem ein Wicklungsträger 9 mit einer HTS-Wicklung 10 gehalten ist. Hierzu dient auf der Antriebsseite AS eine (erste,) starre, 30 rohrförmige Verbindungseinrichtung 8a zwischen dem Wicklungssträger 9 und einem scheibenförmigen, mit dem Rotorwellenteil 5a fest verbundenen scheibenförmigen Seitenteil 7a des Rotoraußengehäuses. Über die starre Verbindungseinrichtung 8a er-

folgt auch die Drehmomentübertragung. Im Wesentlichen besteht diese Verbindungseinrichtung vorteilhaft aus einem schlechtwärmeleitenden Hohlzylinder, insbesondere aus einem beispielsweise mit Glasfasern (sogenanntes „GFK“-Material) oder anderen Fasern verstärkten Kunststoffmaterial. Dieses Material gewährleistet eine für die Drehmomentübertragung hinreichend große mechanische Steifigkeit und großen Schubmodul (G-Modul) bei gleichzeitig geringer Wärmeleitfähigkeit. Auf der der Antriebsseite AS gegenüberliegenden, nachfolgend mit BS bezeichneten Nichtantriebsseite bzw./oder Betriebsseite ist eine erfundungsgemäß gestaltete (zweite) Verbindungseinrichtung 8b zwischen dem Wicklungsträger 9 und einem scheibenförmigen Seitenteil 7b des Rotoraußengehäuses 7 angeordnet.

15 In Figur 1 ist ferner auf der antriebsabgewandten Seite BS ein hohlzylindrischer Wellenteil 5b angedeutet, der an seiner dem Rotoraußengehäuse 7 zugewandten Seite mit dessen scheibenförmigem Seitenteil 7b starr verbunden ist. Über diesen in einem Lager 6 gelagerten Wellenteil erfolgt u.a. eine Kühlmittelzufuhr zur Kühlung der supraleitenden Wicklung 10 von außerhalb der Maschine. Einzelheiten der Kühlmittelzufuhr und der Abdichtung sind bekannt. Auf eine detaillierte Darstellung wurde deshalb in der Figur verzichtet. Ein den Wicklungsträger 9 mit der supraleitenden Wicklung 10 umschließendes Vakuum ist mit V bezeichnet. Das Vakuum ist insbesondere zwischen dem warmen Rotoraußengehäuse 7 und dem Wicklungsträger 9 vorhanden.

30 Aus Gründen einer thermischen Isolation kommt als Material für eine zentrische Aufhängung des Wicklungsträgers 9 auch auf der praktisch kein Drehmoment übertragenden Rotorseite BS in erster Linie GFK in radial verlaufenden und/oder insbesondere axial verlaufenden Teilen in Frage. Eine spezielle Ausführungsform einer entsprechenden Verbindungseinrichtung 8b 35 geht aus Figur 2 hervor. Diese Verbindungseinrichtung weist als ein Verbindungselement 12 ein GFK-Rohr auf, das einseitig z.B. in einen Flansch 13 eingeklebt ist. Dieser Flansch ist

mit einem Kaltteil des Wicklungsträgers 9 starr und wärmeleitend verbunden; beispielsweise mit diesem verschraubt. Der Flansch kann aber auch Teil des Wicklungsträgers selbst sein oder mit anderen Teilen des Wicklungsträgers verbunden sein.

- 5 Das gegenüberliegende freie Ende 12a des GFK-Rohrs 12 ist vorteilhaft durch einen gehärteten Stützring 15 gefasst. Dieser insbesondere aus Metall wie gehärtetem Stahl bestehende Ring soll spielfrei in der Öffnung 20 eines ihn umschließenden Halterungselementes 18 gleiten können. Unter einem spiel-
- 10 freien Gleiten wird in diesem Zusammenhang verstanden, dass ein axiales Verschieben des Endes 12a des Verbindungselementes 12 bzw. dessen Stützrings 15 in der entsprechenden Öffnung 20 des Halterungselementes 18 durch eventuelle Reibungskräfte praktisch nicht behindert wird. Gleichzeitig soll jedoch
- 15 ein radialer Kraftschluss zwischen dem Stützring und dem Halterungselement erhalten bleiben. Das Halterungselement 18 besteht deshalb zweckmäßig aus demselben Material wie der Stützring. Dieses im Wesentlichen ringförmige Halterungselement ist in einen warmen Flansch 19 eingelassen, mit diesem
- 20 verbunden oder Teil desselben. Dieser Flansch ist Teil des Seitenteils 7b des Rotoraußengehäuses 7 oder des Wellenteils 5b.

- 25 Zur Verbesserung der gegenseitigen Gleitfähigkeit des Stützringes 15 und des Halterungselementes 18 in axialer Richtung ist einer dieser Bauteile, beispielsweise das Halterungselement 18 an der Innenseite der Öffnung 20, vorteilhaft mit in Umfangsrichtung regelmäßig angeordneten, sich radial erstreckenden nasenartigen Fortsätzen 17i versehen, an denen der
- 30 Stützring 15 form- und kraftschlüssig anliegt. Damit wird die Kontaktfläche zwischen den beiden Teilen und damit die Reibungskraft auf den Bereich der Nasen reduziert, ohne dass die für den radialen Kraftschluss erforderliche Übermaßpassung (Presssitz) aufgehoben würde.

35

Gemäß einem entsprechenden konkreten Ausführungsbeispiel beträgt der Durchmesser des GFK-Rohres 12 z.B. 90 mm bei einer

Wandstärke von 2 mm. Die freie Rohrlänge liegt beispielsweise bei 40 mm. Durch die Exaktheit der Fertigung wird ein Rundlauf der einzelnen Teile zueinander bestimmt. Die Einpassung des Stützringes 15 aus gehärtetem Stahl mit einem Außendurchmesser von 100 mm in die radial nach innen weisenden Führungsnasen 17i des Halterungselementes 18 aus gehärtetem Stahl erfolgt derart, dass einerseits keine Spielfreiheit entsteht, andererseits aber noch ein axiales Verschieben des Ringes in der Nasenfassung bei den auftretenden Kräften zu gewährleisten ist. Hierzu ist das Halterungselement 18 im wesentlichen hohlzylindrisch ausgeführt mit einem Außendurchmesser von 133 mm und einer axialen Ausdehnung von 25,5 mm. Seine Wandstärke liegt bis auf den Bereich seiner beispielsweise 6 Führungsnasen 17i bei 7,5 mm. Im Bereich der Nasen verringert sich der Innendurchmesser des Halterungselementes auf etwa 100 mm. Damit wird ein axialer Längenausgleich beim Abkühlen und Aufwärmen des Trägerkörpers 9 ermöglicht. Zudem bringt es diese Ausbildung auch mit sich, dass bis zu einem gewissen Grad Fertigungstoleranzen in axialer Richtung auszugleichen sind.

Bei dem konkreten Ausführungsbeispiel stellt die Verbindungeinrichtung 8b ein Wärmeleck von ca. 2,5 W dar und erfüllt daher auch die Funktion der thermischen Isolation hinreichend gut. Eine Abschätzung des thermischen Übergangswiderstandes zwischen den Führungsnasen und dem Stützring hat ergeben, dass dieser hinreichend klein sein kann, so dass keine nennenswerte Abkühlung (deutlich unter 1 K) und damit kein Schrumpf des Stützringes mit dem damit verbundenen Verlust der Zentrierfunktion zu befürchten ist.

Abweichend von der in Figur 2 dargestellten Ausführungsform der Verbindungeinrichtung mit einem hohlzylindrischen Verbindungselement 12 sind auch andere Ausführungsformen denkbar, bei denen ein hohlzylinderförmiges Verbindungselement einseitig starr mit dem Wicklungsträger verbunden ist und an seinem gegenüberliegenden freien Ende in einer axial bewegli-

chen, radial kraftschlüssigen Verbindung mit einem starr an dem Rotoraußengehäuse befestigten Halterungselement steht. So können beispielsweise an dem Halterungselement statt der angenommenen Nasen auch Zähne vorgesehen sein. Entsprechende

5 Fortsätze lassen sich statt an dem Halterungselement auch an dem freien Ende des Verbindungselementes, insbesondere an dessen Stützring vorsehen. Gegebenenfalls können auch beide Teile mit solchen Fortsätzen ausgestattet sein, die auch ineinandergreifen können.

10 Ferner braucht auch nicht eine einzige zentrale Verbindungeinrichtung nach der Erfindung vorgesehen zu werden. Stattdessen ist es auch möglich, mehrere auf einer gedachten Zylindermantelfläche untereinander regelmäßig verteilte Verbindungs-  
15 einrichtungen anzubringen. So sind beispielsweise 3 untereinander um  $120^\circ$  in Umfangsrichtung versetzte Verbindungs- vorrichtungen denkbar.

20 Darüber hinaus kann statt eines als geschlossener Hohlzylin- der ausgebildeten Verbindungselementes 12 auch eine Anordnung von mehreren auf einer gedachten Zylindermantelfläche liegenden Einzelteilen verwendet werden. Diese entsprechende Ver- bindungselemente darstellenden Einzelteile lassen sich bei- spielsweise balken- oder stangenförmig ausbilden.

25 Generell kann das Verbindungselement mehrstückig gestaltet sein. Dasselbe gilt auch für das es umschließende Halterungs- element. Auch dieses Element lässt sich gegebenenfalls aus mehreren Teilstücken zusammensetzen.

## Patentansprüche

## 1. Maschine

- mit einem um eine Rotationsachse drehbar gelagerten Rotor,  
5 der
  - a) ein Rotoraußengehäuse hat, das an axialen Rotorwellen-  
teilen befestigt ist und einen Wicklungsträger mit  
einer supraleitenden Wicklung umschließt,  
und
  - 10 b) Mittel zur Halterung des Wicklungsträgers innerhalb des  
Rotoraußengehäuses aufweist, die auf einer drehmoment-  
übertragenden Seite eine erste, starre Verbindungsein-  
richtung zwischen dem Wicklungsträger und dem Rotorau-  
ßengehäuse und auf der gegenüberliegenden Seite eine  
15 zweite, axiale Dehnungsänderungen des Wicklungsträgers  
ausgleichende Verbindungseinrichtung umfassen,  
sowie
    - mit Mitteln zur Kühlung und thermischen Isolation der sup-  
raleitenden Wicklung,
- 20 dadurch gekennzeichnet, dass die Deh-  
nungsänderungen ausgleichende zweite Verbindungseinrichtung  
(8b) mindestens ein sich axial erstreckendes Verbindungsele-  
ment (12) aufweist, das einseitig starr mit dem Wicklungsträ-  
ger (9) verbunden ist und dessen gegenüberliegendes, freies  
25 Ende (12a) in einer axial beweglichen, radial kraftschlüssi-  
gen Verbindung mit mindestens einem zentrierenden Halterungs-  
element (18) des Rotoraußengehäuses (7b) steht.

- 2. Maschine nach Anspruch 1, dadurch gekenn-  
30 zzeichnet, dass das sich axial erstreckende Verbin-  
dungselement (12) hohlzylinderförmig gestaltet ist.

- 3. Maschine nach Anspruch 1 oder 2, dadurch ge-  
kennzeichnet, dass das sich axial erstreckende  
35 Verbindungselement (12) an seinem freien Ende (12a) in eine  
Öffnung (20) des Halterungselementes (18) spielfrei gleitend  
hineinragt.

4. Maschine nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass das sich axial erstreckende Verbindungselement (12) an seinem freien Ende (12a) mit einem 5 Stützring (15) versehen ist, der in die Öffnung (20) des Halterungselementes (18) hineinragt.
5. Maschine nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Halterungselement (18) und/oder das freie Ende (12a) des Verbindungselementes (12) mit sich radial erstreckenden Fortsätzen (17i) versehen sind/ist, an denen das freie Ende (12a) des Verbindungselementes (12) bzw. das Halterungselement (18) in axialer Richtung spielfrei gleitend anliegt. 10
6. Maschine nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Fortsätze (17i) nasenförmig oder zahnförmig ausgebildet sind. 15
7. Maschine nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das sich axial erstreckende Verbindungselement (12) zentral bzgl. der Rotorachse (A) angeordnet ist. 20
8. Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Verbindungeinrichtung mehrere sich axial erstreckende, auf einer gedachten Zylindermantelfläche angeordnete Verbindungselemente aufweist, deren freie Enden in einer axial beweglichen, radial kraftschlüssigen Verbindung mit dem mindestens einen 30 Halterungselement stehen.
9. Maschine nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Verbindungselemente balken- oder 35 stangenförmig ausgebildet sind.

10. Maschine nach einem der vorangehenden Ansprüche, d a -  
d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass zumindest  
das sich axial erstreckende Verbindungselement (12) aus einem  
mit Fasern verstärkten Kunststoffmaterial besteht.

5

11. Maschine nach einem der vorangehenden Ansprüche, d a -  
d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass die Leiter  
der supraleitenden Wicklung (10) metallisches Niedrig- $T_c$ -  
Supraleitermaterial oder metalloxidisches Hoch- $T_c$ -  
10 Supraleitermaterial enthalten.

12. Maschine nach einem der vorangehenden Ansprüche, d a -  
d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass zumindest  
zwischen dem Rotoraußengehäuse (7) und dem Wicklungsträger  
15 (9) ein Vakuumraum vorhanden ist.

1/2

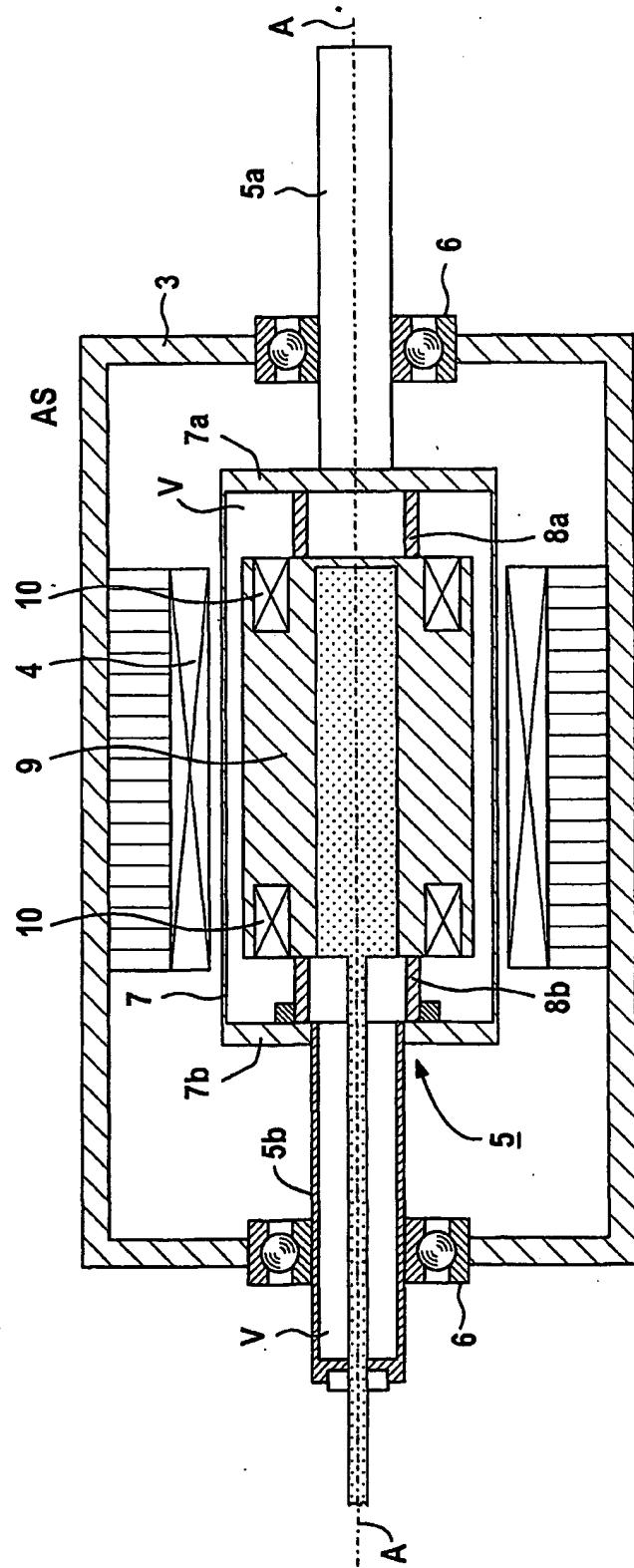


FIG 1

2

BS

2/2

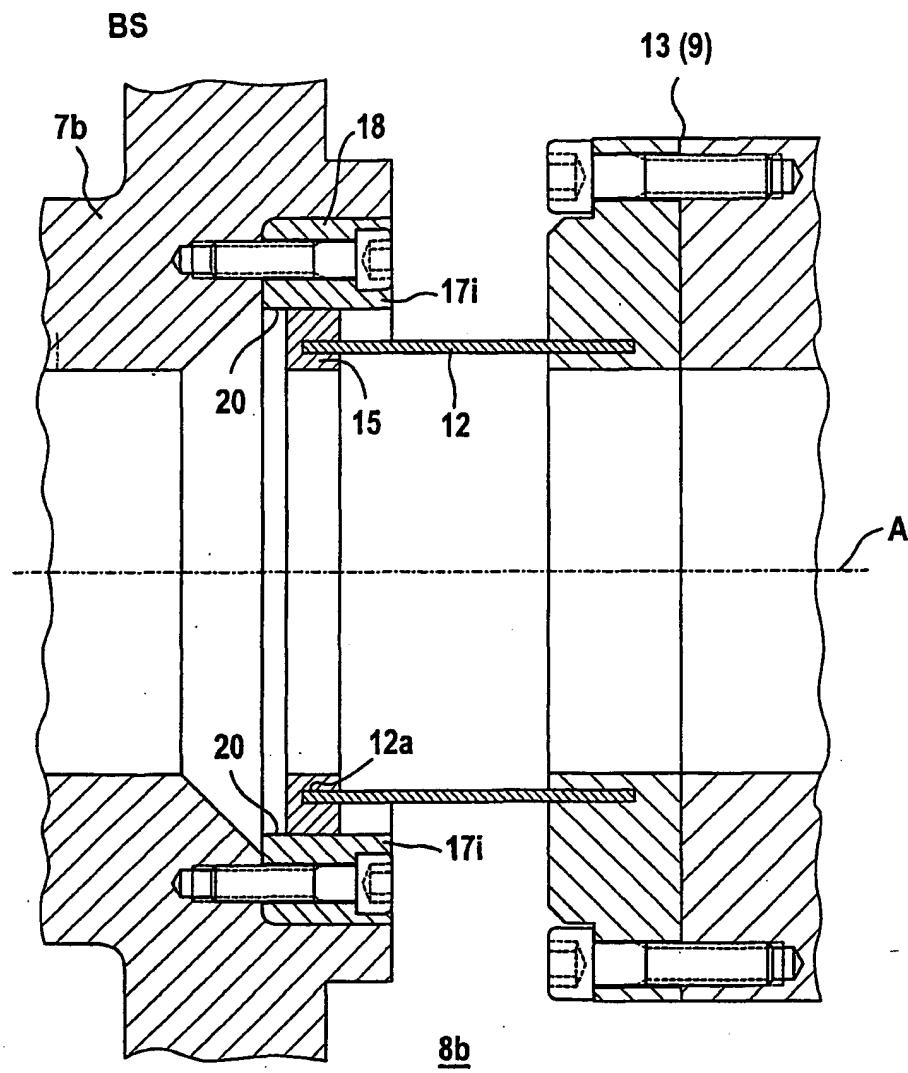


FIG 2

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE 01/04638

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 H02K55/00 H02K5/04

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 H02K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the International search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 1997, no. 01, 31 January 1997 (1997-01-31) -& JP 08 242573 A (CHODENDO HATSUDEN KANREN KIKI ZAIRYO GIJUTSU KENKYU KUMIAI), 17 September 1996 (1996-09-17) abstract; figures 1,2,6,7	1-3,5-9, 11,12
Y		1-5,7, 10-12
Y	US 6 129 477 A (SHOYKHET BORIS A) 10 October 2000 (2000-10-10)	1-5,7, 10-12
A	column 2, line 8 -column 3, line 7 column 11, line 51 -column 12, line 26; claims 1,19; figures 1-6,8	2,4,9
		-/-

 Further documents are listed in the continuation of box C. Patent family members are listed in annex.

## \* Special categories of cited documents :

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*&\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

Date of mailing of the international search report

8 May 2002

15/05/2002

## Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

## Authorized officer

von Rauch, E

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/DE 01/04638

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 006, no. 147 (E-123), 6 August 1982 (1982-08-06) -& JP 57 071263 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP), 4 May 1982 (1982-05-04) abstract; figures 1-3 ---	1,2,7, 11,12
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 1998, no. 13, 30 November 1998 (1998-11-30) -& JP 10 215561 A (CHODENDO HATSUDEN KANREN KIKI ZAIRYO GIJUTSU KENKYU KUMIAI), 11 August 1998 (1998-08-11) abstract; figure 9 ---	3-5,8 1,2,7, 10-12
A	US 4 532 445 A (IWAMOTO MASATAMI ET AL) 30 July 1985 (1985-07-30) column 2, line 67 -column 3, line 11; figures 1,3,6 ---	1-3,7, 11,12

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

I national Application No  
PCT/DE 01/04638

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
JP 08242573	A 17-09-1996	NONE	
US 6129477	A 10-10-2000	NONE	
JP 57071263	A 04-05-1982	NONE	
JP 10215561	A 11-08-1998	NONE	
US 4532445	A 30-07-1985	JP 1453217 C 10-08-1988 JP 55092567 A 14-07-1980 JP 62059546 B 11-12-1987 DE 2951738 A1 03-07-1980 GB 2040598 A 28-08-1980	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

nationales Aktenzeichen

PCT/DE 01/04638

A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
IPK 7 H02K55/00 H02K5/04

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 H02K

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 1997, no. 01, 31. Januar 1997 (1997-01-31) -& JP 08 242573 A (CHODENDO HATSUDEN KANREN KIKI ZAIRYO GIJUTSU KENKYU KUMIAI), 17. September 1996 (1996-09-17) Zusammenfassung; Abbildungen 1,2,6,7	1-3,5-9, 11,12
Y		1-5,7, 10-12
Y	US 6 129 477 A (SHOYKHET BORIS A) 10. Oktober 2000 (2000-10-10) Spalte 2, Zeile 8 -Spalte 3, Zeile 7 Spalte 11, Zeile 51 -Spalte 12, Zeile 26; Ansprüche 1,19; Abbildungen 1-6,8	1-5,7, 10-12
A		2,4,9
		-/-

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

Siehe Anhang Patentfamilie

- \* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
- \*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- \*E\* Älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem Internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- \*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- \*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- \*P\* Veröffentlichung, die vor dem Internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

- \*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem Internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
- \*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden
- \*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann nahelegend ist
- \*8\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der Internationalen Recherche

Absendedatum des Internationalen Recherchenberichts

8. Mai 2002

15/05/2002

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

von Rauch, E

## INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

nationales Aktenzeichen  
PCT/DE 01/04638

## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie <sup>a</sup>	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 006, no. 147 (E-123), 6. August 1982 (1982-08-06) -& JP 57 071263 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP), 4. Mai 1982 (1982-05-04) Zusammenfassung; Abbildungen 1-3	1,2,7, 11,12
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 1998, no. 13, 30. November 1998 (1998-11-30) -& JP 10 215561 A (CHODENDO HATSUDEN KANREN KIKI ZAIRYO GIJUTSU KENKYU KUMIAI), 11. August 1998 (1998-08-11) Zusammenfassung; Abbildung 9	3-5,8
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 1998, no. 13, 30. November 1998 (1998-11-30) -& JP 10 215561 A (CHODENDO HATSUDEN KANREN KIKI ZAIRYO GIJUTSU KENKYU KUMIAI), 11. August 1998 (1998-08-11) Zusammenfassung; Abbildung 9	1,2,7, 10-12
A	US 4 532 445 A (IWAMOTO MASATAMI ET AL) 30. Juli 1985 (1985-07-30) Spalte 2, Zeile 67 -Spalte 3, Zeile 11; Abbildungen 1,3,6	1-3,7, 11,12

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 01/04638

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
JP 08242573	A	17-09-1996	KEINE		
US 6129477	A	10-10-2000	KEINE		
JP 57071263	A	04-05-1982	KEINE		
JP 10215561	A	11-08-1998	KEINE		
US 4532445	A	30-07-1985	JP 1453217 C JP 55092567 A JP 62059546 B DE 2951738 A1 GB 2040598 A	10-08-1988 14-07-1980 11-12-1987 03-07-1980 28-08-1980	